대한설비공학회 2009 하계학술발표대회 논문집 pp. 1465 ~ 1469

09-R-004

다리우스형 풍력블레이드의 설계 방법

이 장 호*†, 두 리 엔**
*군산대학교 기계자동차공학부, **군산대학교 대학원

Design Method for the Darrieus Type Wind Turbine

Jang-Ho Lee*†, Du Lian**
*School of Mechanical Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea
**Graduate School of Mechanical Engineering Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

ABSTRACT: Darrieus wind turbine blade is one of the vertical wind power system in which the lift of blade is used. In the calculation of wind power for the type of that, the multiple streamtubes method is known as an effective method. But it has big difference in the region of higher tip speed ratio because the incoming air velocity is used in the calculation of lift. The incoming air velocity is reduced from inlet to outlet continually by transferring energy to the wind blade. In this study, the air velocity on the blade, which is called blade velocity, is obtained with newly developed algorithm and used to determine the lift. And it is verified that applying blade velocity on the lift calculation cause the power prediction to improve dramatically in the region of higher tip speed ratio.

Key words: Darrieus Wind Turbine (다리우스 풍력터빈), Multiple Streamtubes(다류관), Blade Velocity(블레이드풍속)

기 호 설 명

H : 다리우스 터빈 블레이드의 반 높이[m]
h : 층하나 해석단위의 높이 [m]
Re : Reynolds 수
U : 블레이드풍속[m/s]

그리스 문자

a : 받음각 [도]
Θ : 회전각 [도]

† Corresponding author
Tel.: +82-63-469-4869; fax: +82-63-469-4727
E-mail address: jangho@kunsan.ac.kr

1. 서 론

근래의 풍력발전은 수평축 발전 방식이 대부분이다. 그렇지만, 바람 방향에 따라 회전축의 중심을 맞춰줄 필요가 없고, 발전부와 제어부가 지면에 설치되어 유지보수가 유리한 장점이 있는 수직축 풍력발전이 끊임없이 시도되고 있다. 다리우스형 풍력 터빈은 수직축 풍력 터빈 중 터빈블레이드의 양력을 활용하는 대표적인 형태이다 (Fig. 1 참조).

다리우스 풍력터빈의 해석방법중 하나는 Strickland[(1)]에 의해 정립된 다류관모델 (multiple streamtubes model)이다. 이 방법은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 가상의 유관(stream tube)을 해

Figure1. Darrieus Wind Turbine

Fig. 1 Typical shape of Darrieus type vertial wind turbine

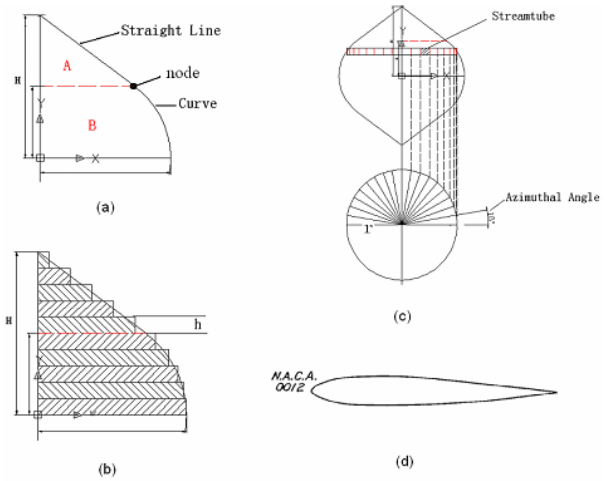

Fig. 2 Modeling of Darrieus wind turbine: (a)blade shape of Sandia type, (b) multiple layers, (c) multiple steamtubes, (d) sectional shape of blade.

석 공간으로 정하고, 이 공간을 지나는 다리우스의 터빈 블레이드의 공력을 계산하는 방법이다. 이때, 해석공간은 정면을 기준으로 상하로 일정수만큼 구분되고(구분된 공간은 층(layer)이라고 불린다), 상면에서 바라보는 관점을 기준으로 원형의 회전방향을 따라 일정한 수만큼 구분될 수 있으므로 다류관이라고 불리는 여러 개의 해석공간이 만들어지게 된다. 이와 같이 연속적인 해석공간을 일정수의 계산영역으로 분할하여 계산하는 방법이 다류관 모델이이다.

Fig. 3은 Strickland[1]에 의해 산출된 성능 예측값을 실험값과 비교한 것이다. 이 그림의 가로축은 회전 날개의 끝단속도비이고 세로축은 출력계수이다. 끝단속도비란 유입공기풍속에 대한 최대 반경의 회전속도 비이다. 그림에서 보는 바와 같이 성능예측 결과는 실험결과의 경향을 대체로 잘 예측하는 것으로 나타나고 있으나, 높은 끝단속도비로 갈수록 그 편차가 점점 커져서 그 차이가 수배까지 이르는 것으로 나타난다. 이와 같은 현상은 양력 계산 시 터빈 블레이드상의 실제공기속도를 이용하지 않고 유입공기 속도를 이용했기 때문이다.

일반적으로 터빈 블레이드로 유입되는 실제 공기속도는 유입공기속도와 날개 회전속도의 합으로 나타나며, 터빈 블레이드로 입력되는 바람은 터빈블레이드에 에너지를 전달한 후 감소된 바람

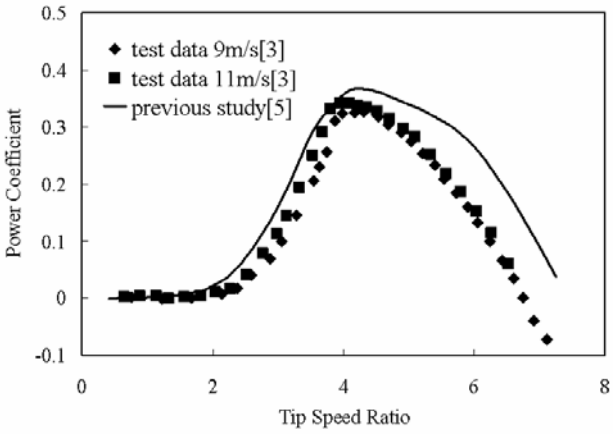

Fig. 3 Prediction and test data of previous study[1].

으로 터빈을 나오게 된다. 그러므로 터빈블레이드의 회전속도와 전달되는 힘을 고려하여 터빈

Table 1 Specification Darrieus wind type

Name	Value
solidity	0.27
blade number	3

cross-sectional shape	NACA0012
swept area of the rotor	2.595m2
height of the rotor	2m
radius of the rotor	0.9798m
radius of the arc	0.6733m
horizontal coordinate of node	0.6721m
vertical coordinate of node	0.5654m

블레이드 상의 실제 속도를(이하 블레이드풍속이라 부름) 구하고 이로부터 회전력을 계산해야 된다.

본 논문에서는 다리우스형 수직 풍력 터빈의 성능예측에 있어서 블레이드 풍속을 기준으로 양력을 계산하면, 높은 끝단속도비에서의 예측성능이 크게 개선된 다는 것을 보이고자 한다.

2. 해석방법

2.1 해석조건

본 해석에서는 Strickland[1]의 연구에 사용된 다리우스 사양과 실험데이터를 그대로 사용한다. 해석에서 사용되는 다리우스형 풍력발전기는 높이 2m의 날개가 3개이며 날개의 단면 형상은 NACA0012이다(Fig. 2(d) 참조). 이 날개의 받음각과 양력 및 항력의 관계는 레이놀즈수 별로 참고문헌[2]에 자세히 정리되어 있다. 해석에 사용된 공기 밀도는 1.204kg/m^3 로 일정한 값이며 계산에 사용되는 끝단속도비는 2.5에서 7사이의 값이다. 해석 대상 에 대한 자세한 사양은 Table 1 에 요약된 바와 같다.

2.2 해석알고리즘

전술한 바와 같이 블레이드 풍속은 터빈블레이드의 회전속도와 유동방향으로 전달된 힘이 함께 고려되어야 블레이드 풍속이 계산된다. 그러므로 계산 초기에 주어진 회전속도에서 블레이드 풍속이 가정되면, 블레이드의 상대속도와 받음각이 산출되고 이를 기준으로 레이놀즈수와 양력 그리고 항력이 차례로 계산된다. 그리고 양력과 항력으로부터 원심력과 회전토크가 계산되며, 회전토크에 회전수를 곱하면 발전량이 산출된다. 계산된 회전토크와 원심력으로부터 유관(stream tube)내 유동 방향의 힘을 계산할 수 있고, 이 힘과 공기 유동방향의 운동량 변화량이 같아야 한다는 관계로부터 블레이드 풍속이 새롭게 구해진다. 이렇게 산출된 블레이드 풍속이 초기 값과 다를 경우 블레이드 풍속을 이 값으로 대치되고 전술한 순서와 같이 블레이드 풍속이 일정한 값으로 수렵될 때까지 반복 계산이 이루어진다(Fig. 4 참조).

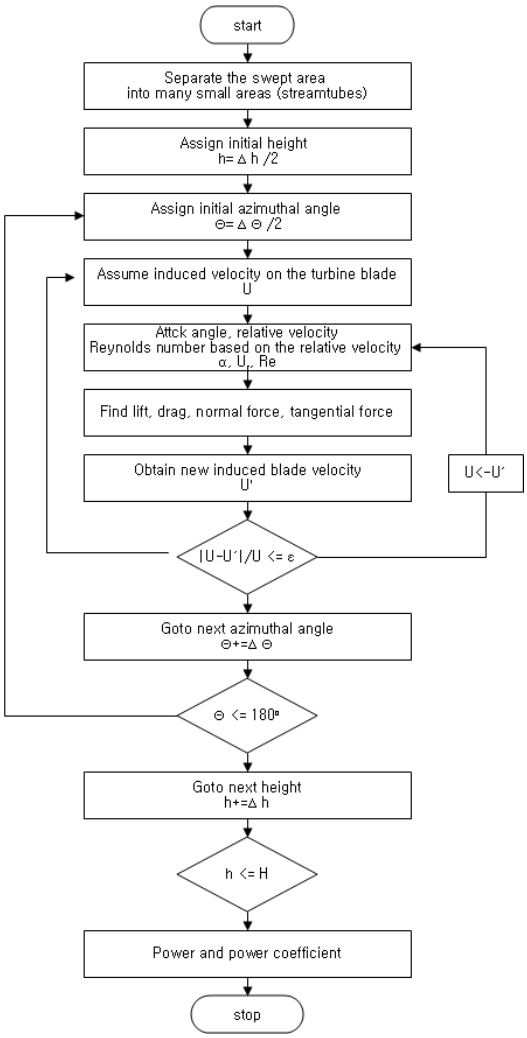

Fig. 4 Algorithm for the prediction of wind power of Darrieus wind turbine

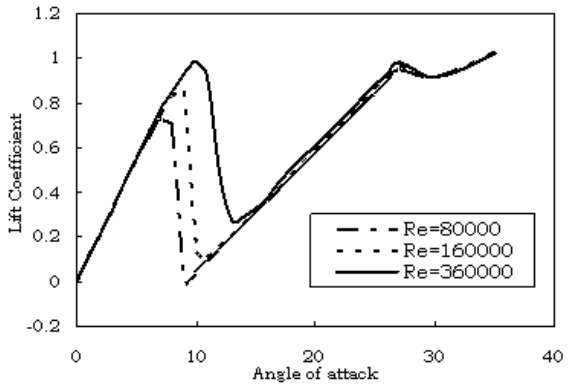

Fig. 5 Comparison of analysis results.

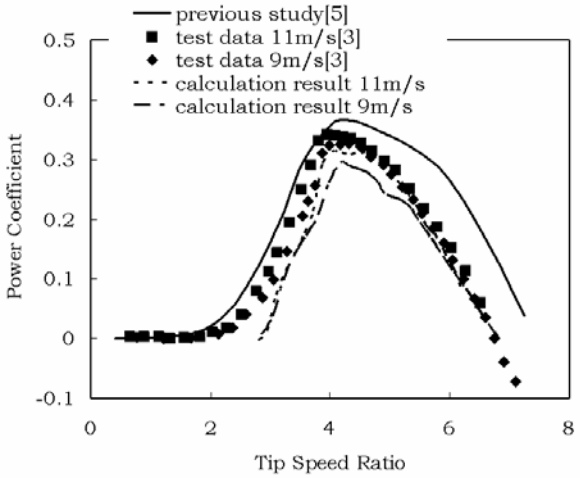

Fig. 6 Comparison of analysis results.

3. 해석결과 및 토의

3.1 높은 끝단속도비에서의 해석결과

블레이드 풍속을 받음각 및 양력계산에 적용하는 본 연구의 해석방법에 대한 결과는 Fig.5와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 새로운 계산결과는 전체적으로 실험값과 유사한 경향을 보인다. 특히, 끝단속도비(tip speed ratio)가 높은 부분에서 예측성능이 기존 연구에 비해 크게 향상되는 것으로 나타났다.

끝단속도비가 높은 영역은 회전속도가 상대적으로 큰 영역이며, Fig.6의 속도선도에서 보는 바와 같이 상대적으로 받음각이 작은 경우에 해당된다. 본 연구에서는 8도 이하의 받음각을 갖는다. 이 부분에서 양력계수는 Fig.7과 같이 레이놀즈수와 상관없이 받음각에 따라 일정한 값을 갖는다. 따라서 해석결결과도 끝단속도비 5.5 이상에서 유입공기의 속도와 관계없이 유사한 출력계수를 나타낸다(Fig.5 참조). Fig.6과 Fig.7로부터 회전속도가 커지면 받음각과 양력이 작아지므로 과도한 회전이 자체적으로 억제될 수 있다는 것도 알 수 있다.

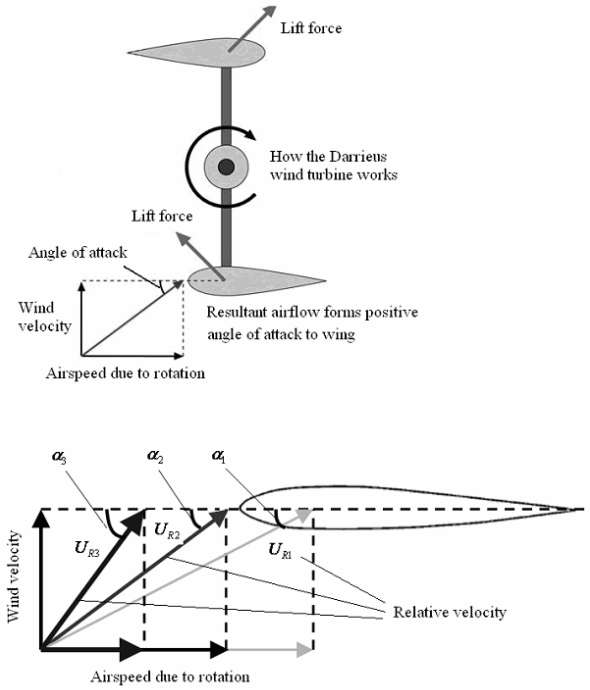

Fig. 6 Velocity diagram and variation of attack angle with rotational air speed.

3.2 낮은 끝단속도비에서의 해석결과

이 부분은 주어진 공기풍속에서 회전속도가 상대적으로 작은 영역으로, Fig.6에서 보는 바와 같이 터빈 블레이드의 받음각(attack angle)이 크다. 블레이드의 받음각이 계속 커지게 되면, 양력계수의 최대값을 지나 실속(stall)이 발생하게 되는데, 양력의 최대값과 실속이 발생하는 시점은 레이놀즈수에 따라 크게 달라진다(Fig.7참조). 더하여, 받음각이 더욱 커져 15도 이상이 되면, 받음각이 작은 경우와 마찬가지로, 레이놀즈수에 상관없이 일정한 양력 계수가 유사하게 된다(Fig.7 참조). 이에 따라 해석결과도 끝단속도비 3,5 이하에서 유입풍속과 상관없이 유사한 출력계수를 나타낸다(Fig.5 참조).

한편, 본 연구의 해석 결과는 기존 해석 결과

와 반대로 실험값보다 작은 경향을 보이며, 출력의 최대점 부분과 낮은 끝단속도비 영역에서 더욱 작게 나타난다(Fig.5참조). 이와 같이 계산 결과의 출력 저하가 실험값 보다 선행되어 나타나는 현상은, 풍력터빈에서 3차원 효과에 의해 실속이 지연된다는 Tangler의 연구 결과와, 맥을 같이한다[3]. 그는 풍동실험에서 사용되는 2차원 익형과 달리 연속적으로 받음각이 변하는 3차원 익형의 경우 2차원 익형보다 높은 받음각에서도 실속이 발생되지 않는 현상이 발생한다고 보고하고 있다[3]. 따라서 2차원 양력 데이터를 사용하는 본 연구의 계산결과는, 낮은 끝단속도비에서 실제로 실속과 출력저하의 지연 현상이 일어나는 실험결과 비해, 출력이 적게 예측되게 된다. 향후, 이 부분의 성능 예측을 개선을 위해 실속 지연 모델이 계산과정에 추가되어야 할 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 다리우스형 풍력터빈의 해석에 블레이드 풍속을 도입하기 위한 알고리즘이 개발되었고, 이 방법이 높은 끝단속도비에서의 성능 예측을 크게 향상시킨다는 것이 증명되었다. 그리고 낮은 끝단속도비에서의 예측 오차에 대한 정성적인 이해와 함께 실속지연 모델을 도입해야 한다는 필요성이 도출되었다. 향후, 이 부분에 대한 추가적인 연구가 계속 진행될 예정이다.

후 기

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과 임.

참고문헌

1. J.H.Strickland. 1975.2, The Darrieus Turbine: A Performance Prediction Model Using Multiple Streamtubes. SAND75-0431 Unlimited Release.
2. Ion Paraschivoiu, 2002, Wind Turbine Design wit h Emphasis on Darrieus Concept, POLYECHNIC International Press.
3. James L. Tangler, 2004, Insight into Wind Turbine Stall and Post-Stall Aerodynamics, Wind Energy Vol.7, pp.247-260.